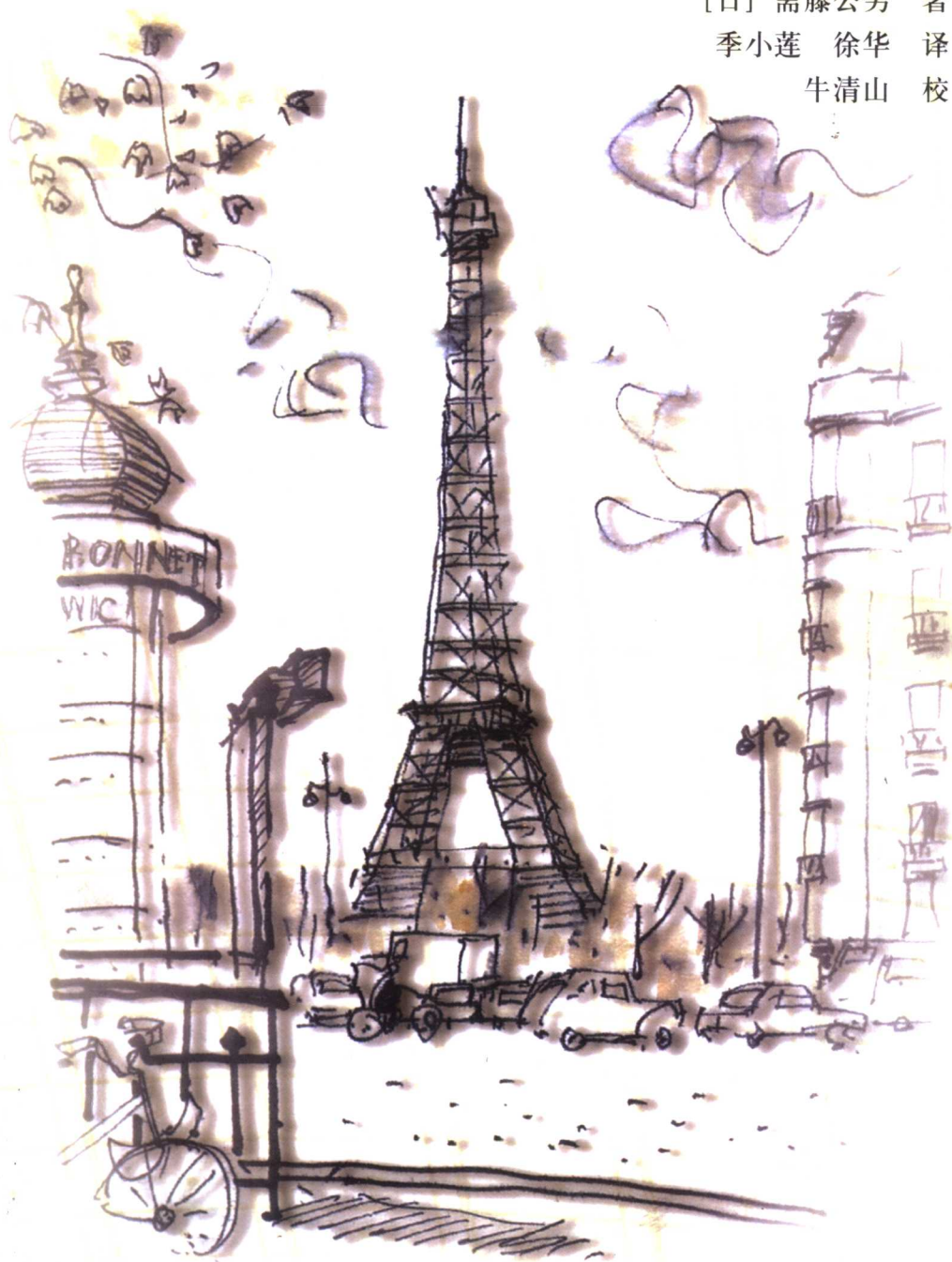


空间结构的发展与展望

——空间结构设计的过去·现在·未来

[日] 斋藤公男 著
季小莲 徐华 译
牛清山 校



中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2005-0950号

图书在版编目(CIP)数据

空间结构的发展与展望——空间结构设计的过去·现在·未来/(日)
斋藤公男著;季小莲,徐华译.—北京:中国建筑工业出版社,2005
ISBN 7-112-07724-9

I.空… II.①斋…②季…③徐… III.空间结构-结构设计 IV.TU399

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第104212号

Japanese title: Kukan Kozo Monogalari-sutorakuchuraru Dezain no Yukue by Masao Saito
Copyright © 2003 by Masao Saito
Original Japanese edition
Published by SHOKOKUSHA Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan

本书由日本彰国社授权翻译出版

责任编辑:白玉美 率琦
责任设计:郑秋菊
责任校对:李志瑛 王金珠

空间结构的发展与展望

——空间结构设计的过去·现在·未来

[日] 斋藤公男 著
季小莲 徐华 译
牛清山 校

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
新华书店经销
北京海通创为图文设计有限公司制作
北京画中国画印刷有限公司

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:16³/₄ 字数:430千字
2006年1月第一版 2006年1月第一次印刷
定价:98.00元
ISBN 7-112-07724-9
(13678)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

空间结构的发展与展望

——空间结构设计的过去·现在·未来

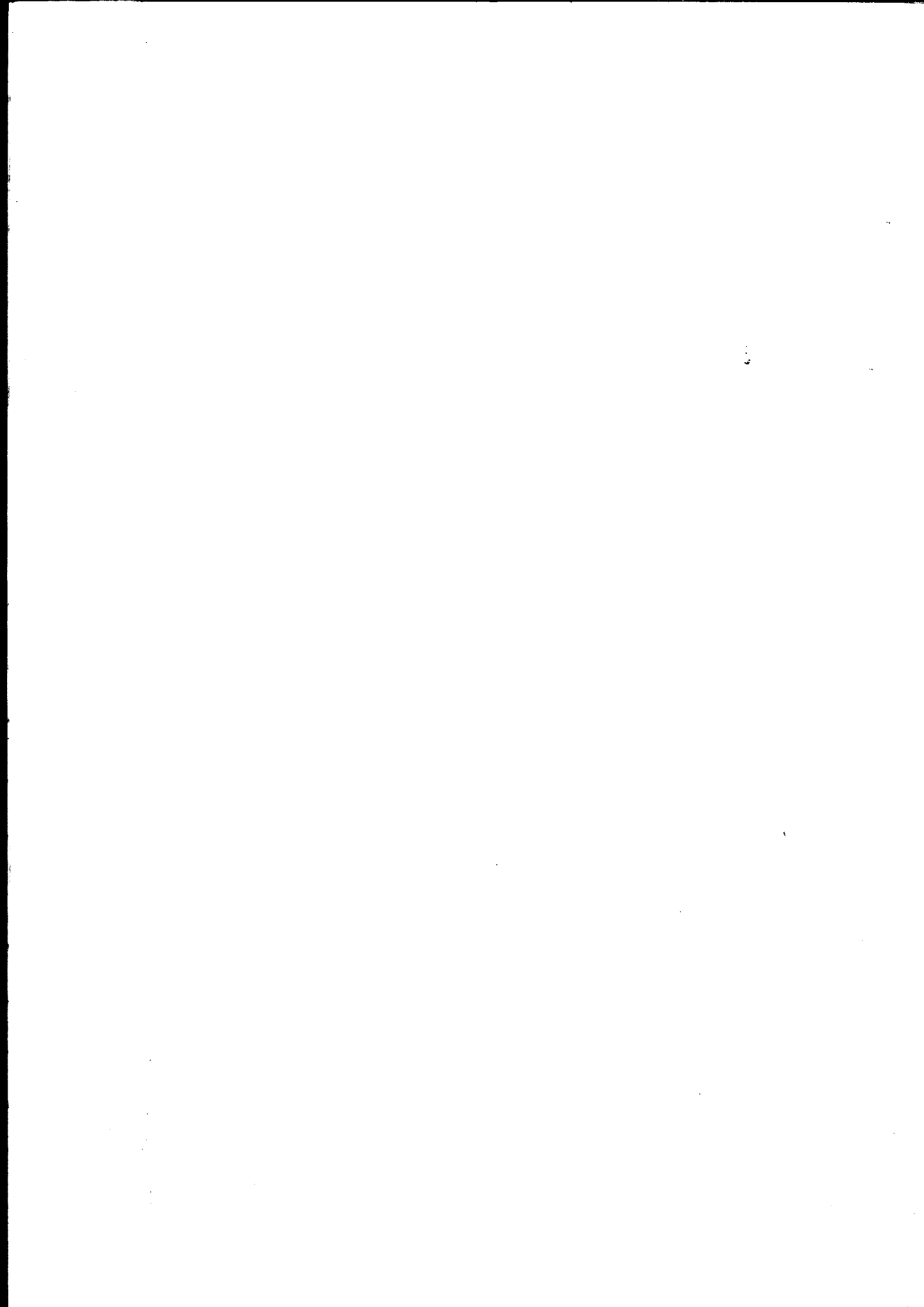
[日] 斋藤公男 著

季小莲 徐华 译

牛清山 校



中国建筑工业出版社



空间结构的发展与展望

——空间结构设计的过去·现在·未来

斋藤公男

Story of Space and Structure
Structural Design's Future
by Masan SAITOH

这是一本世界上的结构技术人员翘首已盼的书。为什么这样说呢?不用作过多的解释,因为当您翻开这本书时就会一目了然。书中内容令人兴奋,所举事例新奇有趣,我相信每一位阅读此书的人都会爱不释手,希望一口气将其读完。

像桥梁、塔类、体育设施及工厂等这些出自于结构技术人员之手的建(构)筑物,或者即使是与建筑师合作设计的建筑物,其建(构)筑物的品质一般会受到使用功能及最低限度的成本因素所支配。因此其美的要素及其文化成分就难免有所欠缺。当然对此类实用性建(构)筑物来说,首先应该充分满足使用功能的要求,但是对于基本建设来说,只有具备了文化因素,才能成为文明大家庭中的一员。

在这里我们应该提醒那些生活在物质社会中的人们应着眼于提高品质的价值,即使是牺牲某些东西也必须自觉地为提高品质而努力。其对象不仅仅是指美术馆、音乐厅及政府大楼等建筑物,也包括实用性的社会财产(基础设施)。因此,作为结构技术人员不应该仅仅在技术上倾注全力,还应该抓住一切机会努力发挥其创造性,为在文化领域的发展作出贡献。

实际上为设计出综合意义上的高品质的结构物,

要求结构技术人员必须在自己的技术知识领域里开动全部感观上的、或创造性的思维(想像力)——本书中将其称为两种向量。只要是从学校毕业的技术人员,任何人都具备这类专业知识;只要是人类中的一员,任何人生来就有这种感观上的创造发明的天赋。因此,杰出的、结构美的建筑物应该随处可见。然而,事实并非如此。因此,一定是在某些地方存在着陷阱,也就是说连接技术与想像之环一定是在哪里丢失了。

本书就是指导人们如何填平专业知识与想像力之间的鸿沟,在设计中将两个元素巧妙组合的方法,并且培育人们在设计上加入个人特点的积极向上的态度。通过学习本书,结构技术人员就会惊奇地发现身边的自然结构物的无处不在,就会以一种敬畏的心态领会其中的奥秘,并且可以理解如果竭尽全力,在由先辈们推动的缓慢前行的结构世界的车轮上再使一把力,也许和同事们一道能使车轮再前进一点这个道理。然后,只要认真热情地进行设计,就会惊喜地发现自己设计的每个建筑物都是以自己的主观意识为基础的、充满创意的、具有独特风格的建筑物。为什么呢?这是因为即使两座具有相同功能或相同使用目的的结构物,由于所处的自然条件以

This is a book, the engineers around the world were waiting for. I will try to explain, why this is so instead of reviewing it, because once in your hands, it is self-explaining and so stimulating, that nobody will stop reading before having reached the last page.

The quality of structures such as bridges, towers, sport facilities and plants designed by structural engineers alone and even in collaboration with architects are too often governed by function and least cost only, thus lacking aesthetics and culture. Of course we first must expect from such utilitarian structures to fulfill their purpose, but only through culture infrastructure transforms into civilisation.

We must encourage our materialistic society to recognize the value of quality and to be ready to sacrifice for it, not only of such buildings as museums, concert-halls and ministries, but also of utilitarian infrastructure and we must encourage structural engineers not to restrict their efforts only to technology, but to grasp any chance to be creative and to make a cultural contribution.

In fact to conceive a structure of holistic quality, the engineer has to bring in his engineering knowledge and his intu-

ition or fantasy—called the two vectors on this book. Since every educated engineer avails of that knowledge and since all human beings are born with a natural fantasy, there should in fact be good and beautiful structures all over. Since this is obviously not so, there must be a missing link, a gap somewhere.

This book closes this gap between knowledge and fantasy by teaching structural engineers how to combine both whilst conceiving a design and how to develop the ambition to give an individual expression to each of their works. In studying this book, he will respectfully realize the wonders of natural structures and that at his best, he might become a little cog in the universe of structures driven by his ancestors and himself driving those working with him. He will be surprised and happy to learn, that every structure he conceives with diligence and love will become his subjective and own and unique invention, since the natural or urban boundary conditions even of two structures with equal function or purpose never repeat such that every standard or repetitive dull structure is a missed cultural chance. Also those who observe with satisfaction our admirable

及都市的边界条件的不同,决不会完全相同。所以,如果采用了标准的、重复的、或者毫无创意的结构形式,必将失去具有文化创意的机会。

另外,由于材料科学从利用计算机的辅助设计与制造已发展到利用机器人进行工程建设的程度,我们这个时代满足于技术上的惊人进步的人们,不能将这种技术进步与表现我们时代新的飞速发展的惊人的结构形式的出现相结合,反而在高度的作业能力及低材料成本的驱动下,只关心加速标准件的生产速度,这不能不给人们留下一种新的遗憾。然而,通过阅读本书可以了解到存在着与由产业革命的进行而发明的铸钢及其后来的钢筋混凝土等新材料相同的情况。那么,就可抱有新的希望。也就是说,开始人们只能将铸钢及钢筋混凝土用于已有的形式中,但不久慢慢地学会用其创造出新的令人吃惊的结构形式。

我们的日本同行坪井善胜、川口卫及斋藤公男现在正对高强钢及高强缆索、铸钢、高强纤维布与玻璃纤维等进行组合利用,不断创造出新型结构,现在正站在世界的前列向着正确的方向大步前进着。另一方面,不仅仅是新型混凝土或者纤维混凝土之类的复合材料,即使是使用标准强度的混凝土的设

technological progress in structural engineering from material sciences though computer aided design and manufacturing to robot erection must regret that all this dose not result in new surprising forms as an expression of our times, but due to thee high labor and low material costs in perfection of the standard. They will have new hopes when reading that the same happened when in the course of the industrial revolution new materials like cast steel and later on reinforced concrete were invented: they also initially were used to copy in shape what was already there and only slowly it was learned to develop new and surprising forms. Using high strength steel and cables, cast steel, textile membranes and glass, we are already on the right track, with our Japanese colleagues Yoshikatsu Tsuboi, Mamoru Kawaguchi and Masao Saitoh in a world-wide leading role, but in the use of concrete, even of normal strength, not speaking of new types or on the other side of fibre composites, there is still a big gap between knowledge and creative application.

Beyond that Masao Saitoh is one of the few, who have recognized, that it is detrimental if we are satisfied teaching

计,在专业知识与创作运用之间的距离也仍然很大。

如果我们忽略了实际设计的一部分,无视整体的全面的设计,而仅仅满足于所学得的技术知识的话,那将招致恶果,斋藤公男就是深知这一点的少数人之一。不,岂止是恶果,如果不进行有关创造性的设计教育,又不在大学阶段激发个人的创造性的话,那么就将埋没有创造性的人才,那将没有再度复苏的可能性。本书就是为有创造性的学生应如何进行工作提供了很好的教材。

本书从整体上来看教给我们的是高质量的构筑物应通过最大限度地利用适当的材料以及高效率地、最低限度地使用能源来实现。因此,最终可将其称为“生态建筑”。假如这类构筑物与标准的、粗糙的构筑物相比,成本要高一些的话,此时的成本差可认为是由脑力劳动与体力劳动的增加而引起的,那么,该构筑物可以称之为“社会性的”。当成为此类构筑物时,因其形状由自身的理论所决定,所以就可以自如地表现自我,创作出真挚的美,它对“文化性”也就作出了贡献。

生态建筑是社会性的、文化性的结构设计,这就是本书的主题。

only the analytical and technological approach at university level leaving the synthetical and conceptual design part to practise. No, if conceptual design is not taught, if creativity is not stimulated at school, it will get buried and probably never revived. This book gives beautiful examples of creative students' work.

As a whole this book demonstrates that high quality structures are making the best use of appropriate materials, they are efficient and consume little resources and with that can be called ecological. If they are slightly more expensive, then a standard clumsy structure this difference in cost can result only from more intellectual and physical labor and with that, they can be called social. Since their form derives from their logic, they tell their story are honest and beautiful, a cultural contribution.

Ecological, social and cultural structural engineering, this is what this book is about.

Jo Sellaio



从前哥伦布曾乘坐这艘圣玛利亚号以探索未知的新大陆为目的，向大海深处驶去。在落日的余晖下凝视巴塞罗那港口的人们的身影从来都是静止的。

总感觉建筑物像“织物”似的。

以技术(科学技术)为经线、以感性(形象)为纬线织成布。人类自从在地球上诞生以来，技术的经线从来就没有间断过，并且逐渐变得强壮而又坚韧。随着时代的变迁，其根数也逐年增加。在那里感性的纬线不断交叉着，有时粗，有时细，其多彩多姿的纬线不断描绘着“时代的风貌”。这两条线可认为是“结构”与“空间”，也可认为是“文明”与“文化”。

在设计过程中也一样，建筑师与工程师在很多层面上都应进行合作与互动，对于太重视自己的想像，而久久不能形成建筑的建筑师而言，也存在着努力使别人理解其空间形象的结构师。既有不理解结构的建筑师，也有不理解艺术的工程师。总之，在经线与纬线的交汇点处总有一些故事。在两者的纠葛中一定会发现建筑空间的形象。

本书就是想讲述在“空间与结构的交汇点”处的各式各样的传奇故事。在“传奇故事”的选择中设定了以下所示的几个视点。

- ① 围绕着历史的视点——从古代文明的时代起，人类所显示的对“建设”的热情是什么？就是从木、石的古典材料向铁、钢及RC(钢筋混凝土)的近代材料的变迁过程。那么由材料产生的对建筑空间的挑战是如何展开的？
- ② 围绕着人物的视点——任何工程在推进其进展的

核心中必定有一位核心“人物”。结构世界也是如此。那就是在互动中发挥最大作用的工程师、或者是开拓了创新性技术的建筑师。他们的执着及奋斗目标又是什么样呢？

- ③ 围绕着结构设计的视点——确保建筑物的安全性是结构设计中的第一要素。在此基础上要求更完整的、更有魅力的设计。个人应为之努力的理念及手法，也就是说“对我而言的结构设计”应该是什么样呢？两个向量还有整体设计是个什么样的形态呢？
- ④ 围绕着“由构思至建设”的视点——“想像”是一切工作的出发点。设计、制作及施工都要求充满活力的想像力。那么，创造建筑空间的过程是如何展开的？
- ⑤ 围绕着结构美的视点——建筑设计中的“形状”与“力”自古以来就是相辅相成发展起来的。它有与雕刻所不同的结构构造上的美感，因此，才使建筑本身产生魅力。那么，对结构本身或者建筑美作出贡献的结构的作用是什么呢？

上述的视点目前在很多书籍中均有所涉及，我们非常希望通过将这些视点简洁地归纳在一起，使人们更加易于理解“空间与结构”的全貌，并成为相互讨论的平台。为达到这一目的至少也要选出一些关键词。这就是我写此书的动机之一。

从南利姆可以遥望到宽为30km、深为1.6km的大峡谷国家公园。1000万年前就已开始的水与岩石之间的碰撞。它显示出了悠久时空的演变及自然力量的伟大。眼前宏伟的大自然风景令人久久不愿离去。



目前，事实上是一方面被称为信息过剩，而另一方面，信息的不均衡使真正有用的信息又很少。本书可以被看成是一部有关“空间与结构”的入门书。本书的读者应更多地培养这方面的兴趣，看更多的书。基于此愿望，本书中尽可能地多介绍一些其他书籍，这样就可以从其他的优秀图书中获得更多新的信息。

本书的内容以我在大学及研究生院的讲义《结构计划及技术》、《空间结构》、《结构设计》等为基础。在这些讲义中主要以一、二年级学生为对象的“结构力学”和三、四年级学生为对象的“结构设计”这类一般的课程中所不涵盖的“力学与结构·原理与应用”、“空间与结构的相关性”及“建筑师与工程师互动的重要性”的内容为中心。本书意在进一步扩大读者范围，不仅仅针对那些对建筑设计及结构技术有兴趣的大学生、研究生，而且希望普通人也能喜欢，并且希望年轻的工程师及建筑师们读此书后能有所收获。

“结构力学”往往不大受学生们的欢迎。我在大学时也作过很多努力，但总觉得“教起来”太难。“讨厌结构的学生”长期以来对结构持有奇怪的偏见，这并不是从今天才开始的。或者“特别喜欢结构力学的学生”偶然成为解析万能主义的工程师也并不仅是从前的佳话。

为使将来在社会上对重大的事件或存在的问题

不过于吃惊，培养学生们的思维方式既灵活又坚韧，这也是本书的目的之一。

本书的一大主题就是“结构设计究竟是什么？”世间万事万物的根本是“人类与自然”。结构设计就是处在连接两者的位置上。

本书所列举的建筑空间主要是以“集会空间”、“无柱的大空间”为中心。我之所以长期以来一直对“空间结构”非常关注，其中最重要的是因为从古代文明开始这个领域就不断地进步与发展，与高层建筑相比具有悠久的历史。

在本书中为了使整体更加形象化、生动化，选用了很多本人拍摄的照片。所介绍的事例基本上都是亲眼所见。然而，由于篇幅有限，没能将作品设计者的名字全部记载。同样对于目标建筑的实现在设计、制作及施工上全力合作并给予诸多帮助的许多朋友的姓名也没能予以记载。对于这些内容可以阅读详细记载这些作品的书籍。

作为将“古代到现代”或者将“世界与日本”相连接并且使“建筑与桥梁”、“建筑师与工程师”相互交流的文化入门书，本书如能发挥作用，笔者将甚感荣幸。

2003年10月

作者

空间结构的发展与展望

空间结构设计的过去·现在·未来

目 录

序/耶尔格·施莱希(Jörg Schlaich)	日本的木结构大跨结构-2	60
.....4	重建双塔	62
前言		6
1 空间与结构的交汇点	4 钢铁的时代	
空间与结构的结合-1	从经验到科学	66
空间与结构的结合-2	铁器的曙光	68
自然与艺术	由技术革新产生的奇迹空间	70
各种各样的结构形态	不屈的工程师之魂	72
力流与力的平衡	铁器的魔术师	74
建筑物为什么会倒塌?	布鲁克林桥的传奇故事	76
	圣路易斯的荣耀	77
	横跨海湾的巨人	78
	桥梁为什么坍塌?	79
	悬索结构与桁架	80
	异形桁架梁	82
	分段化处理的连续梁	83
	19世纪的工程师与建筑师	84
2 古代文明的时代	5 20世纪——向可能性的挑战	
文明与技术	从19世纪末进入20世纪	88
世界上的七个谜团	超大跨桥梁的梦想	90
立石像之谜	通向超高层之路	92
巨石阵之谜	世界上的大跨建筑	94
消失的文明	日本的大跨建筑	96
石砌的魔术师	建筑材料的发展	98
消失的都市		
为什么要建造金字塔?		
被继承下来的伟大建筑		
悠久的历史遗产		
穹顶的前身		
3 石与木的时代	6 充满创意的世界	
罗马时代的拱券	结构工程师及建筑师	102
奇异的大空间	由力流产生的有机形态	104
超越时代的巨大空间	有机的空间与结构	106
艺术与技术的结晶	由钢筋混凝土结构构成的	
标志性穹顶	新形态	108
记忆中的陵墓	结构的秩序与美学	110
哥特式的大空间	宇宙船地球号	112
最后的石砌穹顶	综合性的结构设计	114
石砌结构的空间与构造	整体的结构设计	116
诞生于日本的石拱	近乎于合理性的美	118
诞生于日本的木拱	建筑师与结构工程师的互动	119
日本的木结构大跨结构-1		

创造空间的魔术师·····120	西班牙的 ALLOZ 的渠桥·····172	绿色前桥穹顶·····232
无名却带有普遍性的空间·····122	英国的达勒姆的步行桥·····174	出云穹顶·····234
激活结构空间的建筑师们·····123	日本九州的伊纳科斯桥·····176	静冈埃克帕体育场·····236
结构的诗篇·····124	德国斯图加特的观光塔·····177	山口飞翔鸟式穹顶·····238
寄托于膜结构之梦·····126	日本的唐户桥·····178	酒田市国体纪念体育馆·····240
潘达式穹顶·····127	椭圆形穹顶·····179	穴生穹顶·····241
轻型结构的旗手·····128	建筑会馆的开闭式穹顶·····180	天城穹顶·····242
钢筋混凝土壳的自由表现形式 ·····130		堀之内城镇体育馆·····243
结构技术的艺术体现·····132	10 结构形态	唐户市场·····244
向膜结构极限的挑战·····136	空间结构中的结构形态·····184	
探讨木结构的可能性·····137	形态的构思与选择·····186	13 纵观结构设计
如猎犬般的追踪者·····138	由弯矩图构成的形态·····188	体验建筑与结构教育·····248
奇妙的结构形态·····139	山形拱的设计·····190	每个人都可以成为工程师·····250
	空间桁架的设计·····192	地球环境与设计·····252
	格子设计·····194	现在假如你是富勒·····254
	构成形态的机理-1·····196	什么是结构设计?·····258
	构成形态的机理-2·····197	结构设计的目标·····260
	关键部位的结构·····198	
	可变形的结构·····200	结束语·····264
	结构与表现形式-1·····202	
	结构与表现形式-2·····204	参考文献·····266
7 集会的空间	11 科学技术的发展与演变	
步行桥·····142	张弦梁结构·····208	
瞭望空间与塔·····143	张弦梁结构的设计·····210	
候机楼·····144	构架与拉力的组合·····212	
半室外空间·····145	轮式环箍形张弦梁·····213	
中庭空间·····146	富勒与复合型张拉体·····214	
高层建筑形成的大空间·····147	走向复合型张拉体的世界·····216	
体育比赛与大型活动空间·····148	复合型弦支桁架·····218	
展出空间·····150	张弦剪式结构·····220	
临时性空间·····151	什么是张力膜?·····222	
可动的建筑即可变空间·····152	尖角形张力膜·····223	
祈祷空间·····153	吊架式张力膜·····224	
小空间及居住空间·····154	支柱式张力膜的设计·····226	
	弹簧支撑式张力膜的设计·····227	
	MJG 传奇故事·····228	
8 设计的二元素	12 从构思到实现	
习志野穹顶·····158		
日本的穹顶方案设计竞标·····160		
东京奥林匹克国立代代木 体育场馆·····162		
慕尼黑奥林匹克体育场·····164		
悉尼歌剧院·····166		
9 无建筑师的结构		
瑞士的 Salginatobel 桥·····170		

1 空间与结构的交汇点

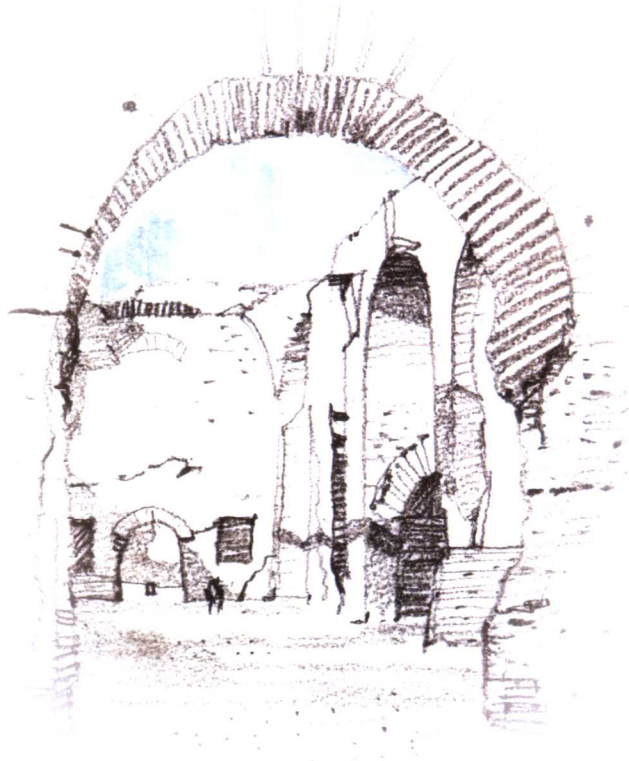
- page 12 空间与结构的结合-1……蜜蜂为设计师，蜘蛛为工程师
Space and Structure-1……Bee as Designer and Spider as Engineer
- 14 空间与结构的结合-2……时代的感性·建筑织品论
Space and Structure-2……Sensitivity to the Times and Theory of Architecture as Fabrics
- 16 自然与艺术……什么是美？
Nature and Art……What is Beauty?
- 17 各种各样的结构形态……巧妙的结构形式
Various Structures……Skillful Structure
- 18 力流与力的平衡……力与形状
Flow and Balance of Force……Force and Form
- 19 建筑物为什么会倒塌？……建筑物的寿命与安全
Why Buildings Fall Down?……Life and Safety of Building



冬天的早晨从梦中醒来，打开窗户一看，外面是雪景一片。在院子的一角，有一个昨天不曾见过的美景。那是由雪的重量与网的张力形成的平衡的美。平常不引人注目的透明体——当重力加速度作用在质量上产生的自重降落在柔软的网中，就形成了自然光滑的曲面。不久，随着太阳的冉冉升起，雪的堆砌物开始放出耀眼的光芒。——这是“形态”与“力”相互作用的短暂瞬间发生的故事。

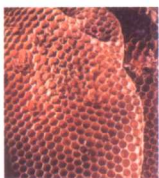
罗马的公共浴场始建于公元前2世纪，到公元前33年时据说已多达170个。当时世界上最大的卡拉卡拉浴场可容纳1600人，作为最早的多功能综合性娱乐设施深受当时的市民们的欢迎。但是在6世纪初，哥特族人在围攻罗马的过程中破坏了水道设施，废弃了卡拉卡拉浴场，剥去并掠夺了浴室内奢华的内部装饰。

失去了大理石与各种装饰的遗迹，只剩下了结构与空间。失去了华美的装饰，空间依然存在，而失去了结构的空间却不可能存在。这种感慨又一次从内心深处发出。仿佛衬托着风干的石砌拱券的天空的蔚蓝色刺痛了我们的双眼。



空间与结构的结合—1

Space and Structure-1



由超密实的蜜蜂分泌物生成的六角形蜂巢。



飞舞的蜜蜂(摄影:栗林慧/自然摄影家)。

昆虫界中进化为高度社会集团化的蜜蜂,确立了每日轮值的分工合作制度。各自具有专业职能的同时,还利用毕生的时间学习所有其他的工种。这一点与人类社会存在着很大的差异。谁都知道,全能的蜜蜂在筑巢时选择的六角形是以最省的材料得到最大空间的终极几何体。人类利用可实现强度高、重量轻的蜂巢(honey comb)结构,制造出了飞机的翅膀和人造卫星的外壳。

• 形状与力

自然界存在着各种各样的形状:流动的浮云,弥漫的雾气,缤纷的彩虹,波浪在瞬间产生的形状,翻卷、飞溅过程中形成的出人意料的自然美,时常深深地感动着人们,由此诱发了人们在创造建筑空间时的灵感。

另外让人惊讶的是形状与力的结合产生的结构形式常常存在于自然现象与生物世界中。例如,由表面张力形成的巨大水泡、肥皂泡和水滴,空中悬垂的蛛丝或蜘蛛编织的巧妙的蜘蛛网,皮肤包裹的肌肉等“柔性结构”,以及风雪穿透的岩石、贝壳、鸡蛋、头盖骨、骨头与肌肉的结合,大树的树干等“坚硬结构”。植物的上翻叶片、被雪压弯的小树、强风中摇曳的柳枝等等可认为是介于软与硬之间的存在。

对自然界中的结构与建筑结构进行比较其实很有趣。上面所举的例子可以与拱券、壳体折板、悬挂屋盖、空气膜、网壳,以及柱、梁、框架等结构形式进行类比。从蜂巢、雪片到分子结构中显示的微观世界的规则排列,令人联想到空间网架结构体系;由无限的宇宙中所具有的秩序与平衡中产生了“具有张力的海上悬浮支柱”,这种充满魅力的张力整体结构的设计理念。

与建筑结构相关联的造型在常用工具和交通运输工具中随处可见。如灯泡、汤匙、水杯、贝壳、头盔、小船和飞机等为空间曲面结构;自行车的辐条、车轮、羽毛球拍为复合张力结构;悬挂空中的鲤鱼旗及鼓满风的船帆中展示出的动态结构膜与膜结构的稳定论相关联;在网格上张贴的和纸(日本纸)通过照明可以发现构架膜中的结构特性。所有这些功能(用途)、力学(强度)与形态(美观)的相互融合现象与建筑结构相同,其外观特性反映了时代与实用的需要,但主观上的恣意发挥却受到了抑制。雕刻是人

们创造的艺术造型,其在制作过程中不应受到任何约束。但随着体量的增加会产生对形态的干扰因素,需要对材料、制作、搬运、安装过程中的技术因素进行研究。这就是自由的建筑造型与确保安全的结构形式发生关系的原点。

自然、道具和雕刻,三者均有与“结构”相关的结合点。在探寻结合点的过程中,暗藏着建筑结构是什么的答案。在这些繁杂的信息中所缺乏的是人类的本能,也就是说人类对建筑空间的想法及建设的欲望。

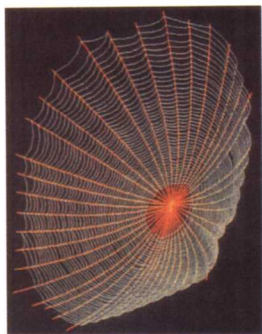
• 蜜蜂为设计师

在建设欲望上,可以说人类与蜜蜂非常相似。其本质上的差别只有一个。蜜蜂“不会建设比昨日更好的蜂巢”,而人类“总是设法寻找更加合理的结构”,或者说“设法创造更加舒适的未知空间”。

相对于可以轻而易举地用同样的单元体堆集成最密实的六角形蜂巢精致结构的蜜蜂,人类却在绞尽脑汁地尝试三角形与四角形的混和,或是不规则的排列组合体。在其中的合理与不合理之间努力寻找其平衡点,这就是结构技术。

毫无疑问,不同的结构师设计出的结构是不同的(除非限定了结构形式)。与无数的蜜蜂或蜘蛛一成不变地继承了蜂巢或蜘蛛网的结构不同,人类所采用的材料、施工方法、构造方法以及规模形状则是千变万化的。

人类的本能,进一步说是人类的偏好、天资和野心决不会停留在一处。它总是与艺术、建筑或者是结构相关,期望能够超越过去不断进步。和所有的艺术作品一样,使不确定的未知的结构得以实现的欲望是结构师的天性,也就是这种好奇心促进了人类建设史的发展。但是在这里产生一个问题,即对未知领域的挑战总是与风险并存。



在风中摇曳的蜘蛛网。

1995年关西国际机场获得了日本建筑学会颁发的业绩奖与作品奖两项大奖。笔者随后与刚刚独立执业的冈部宪明有一场对话。其发言令人留下深刻印象，至今记忆犹新。下面是发言中的部分内容。

“雨停了，去林中散步。忽然被树林中闪闪发光的東西所吸引。树木的枝头上，小小的水滴好似水晶项链般发出耀眼的光芒。项链的赠与者是蜘蛛。雨后蜘蛛网的清晰美丽再一次使人认识到自然界中巧夺天工的造型能力。

斋藤公男先生在第一眼看到自己经手的天城穹顶时，联想到了透明发光的蜘蛛网。那形式如悬浮在空中的蜘蛛网，是我非常喜欢的结构造型之一。构件的尺寸、构成、素材

的搭配、连接受压构件的张拉索、连接节点的组合非常均衡地构成一个整体，它采用了大气中浮游的表现形式。尤其绝妙的是在白色特氟纶膜形成的光的扩散面上放射出光芒的面和线的织物中呈现出的线材的搭配。

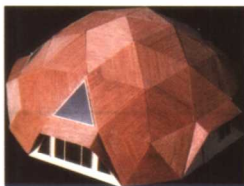
在膜结构中要想得到纤细的图案感觉并不像想象的那么容易。因为膜结构自身的不确定的外形往往起支配作用。然而在天城穹顶中，由于采用了如蜘蛛网状的结构件的布置，获得了膜结构中非常少见的细致的感觉。

大约在与斋藤先生交谈的前一周，收到了久未通信的劳伦·里恩小姐的来信和最近的论文。我与已故的结构大师彼得·赖斯先生合作了将近20年，完成了多个项目。劳伦·里恩小姐继承了赖斯的遗志，在牛津大学致力于利用计算机对蜘蛛网的结构特性进行非线性模型的分析工作。她与牛津大学的生物学家组成研究小组，共同对经历了4亿年岁月的大自然的变迁所形成的蜘蛛网的结构体进行研究。通过他们的研究可以看出自然界中蕴藏着的结构极为丰富。现代建筑时至今日已经掌握了各种各样的结构形式。随着计算机的介入，今后将会获得更多的结构分析方法。在建筑与结构的不断创新活动中，特别应该引起重视的是有机地、科学地掌握对素材和结构的力学意义上的认知能力。

与天城穹顶的结构设计师斋藤公男先生的对话主题是关于以不断发展的科学认识为食粮，使创新的建筑在现实中不断变成现实的具体化问题。

谈话结束了，我们感到斋藤先生与彼得·赖斯先生一样，都具有从蜘蛛网中发现蕴藏在其中的结构的可能性的诗一样的想像力。

建筑师与有共鸣的结构师的邂逅，带来了开始新的冒险的期待与喜悦。”（“蜘蛛网的梦想”《建筑通信报》1995年5月25日）



无建筑师的空间造型与结构。(左1、左2)用木板结构建成的几何形穹拱小屋。对于住惯了矩形空间的人来说，穹拱的住宅充满了新鲜感。(右1、右2)在横手市可见到的“窑洞”，洞穴里面意想不到的宽敞与暖和。

• 人类是工程师

在建筑世界里结构技术的第一首要作用是确保结构的安全性，结构设计的第一步从这里开始。

建筑自身不仅要能承受自重和活荷载，还要抵抗地震、台风、积雪荷载。有时还要求抵抗水压力或温度的变化，使建筑空间能正常发挥其全部功能和性能。这是结构的使命，也是结构工程师的作用所在。

但是解决安全问题并不是容易的事情。人们在寻求变化与进行革新时，当构筑物的设计与施工中的新的问题未被预见而继续出现时，就会产生Failure(坍塌或失败)。像这样也许在所有的艺术与生产过程中都可能发生的情况，为什么在建筑结构中就具有特别的意义呢？这是因为这种风险

与人的生命安全息息相关，而且就在我们身边随时可能发生。

例如有百余名观光游客参观的海伊特·里吉希的空中廊道的倒塌原因仅仅是由于一个细部处理的失误所造成。由于该设计充满了创意，对结构师的打击也就格外沉重。当然由于各种问题引起的损坏与失败所引起的人们的焦虑与不安，当我们不再进行创新(或仅仅是革新)时，也就不复存在。那么我们面临的将不是进步而是停滞，不是创造而是陈腐。

结构设计本来是非常个人的行为，利用自己的经验、知识与创造力，在自己创造的世界中寻找其中的乐趣。今天我们才更能深刻地理解佩德罗斯基的“人类是工程师”这句话的深刻含义。



布拉格城(9世纪~)的12世纪会堂(银色大厅)。力流沿着石灰石建造的顶棚上的带状肋清晰地传递。虽然为石材,却柔和温暖。



(左)埃斯特贝利花费了一生时间建造的斯德哥尔摩市政厅(1923年)。显示出超越时代的气派和优雅的风格。

(右)朗香教堂(圣母巡礼教堂)(1955年)。在重建这座第二次世界大战中被毁坏的教堂时,柯布西耶所衷心祈盼的是“寂静的祈祷。和平与灵魂的欢悦”。用倒塌教堂的碎石砌筑的新教堂,从各个方面看都不同于原建筑。巨大的屋顶很宽阔,为钢筋混凝土结构。尽管有雕刻一样的外观造型,柯布西耶最关注的是“光”。“重要的是光。光使形状清晰,形状具有倾诉情感的力量”。镶嵌在厚厚墙壁上的彩色玻璃,墙壁上方射进的一束光柱使整个顶棚浮了起来。在这里结构形式不是问题。

● 建筑与建筑物

维多利亚时期的建筑师对水晶宫(Crystal Palace)的评价与一般民众不同,他们批评其在形式与功能上缺乏有机统一的紧密联系。同样,埃菲尔铁塔也遭到了建筑师与艺术家的猛烈批判,其建设受到了抵制。两者最终被当时社会所接受,不是因为它是建筑(Architecture),而是因为它是建筑物或者说是建造物(Building)。

19世纪传统的建筑观点认为,工程师是建设建筑的骨架,通过对骨架的外表进行装饰才能进入建筑文化领域。也就是说,一般认为建筑是进行了美学考虑的建筑物,或者是进行了外观装饰的建筑物。即使是巨型建筑,如果采用砖或石材也可以得到哥特式等建筑表现形式及连续性。但如采用钢结构的纤细构件则会出现建筑如何进行表现的问题。像车站式的建筑,我们应该将其区别对待,或将其作为建筑的一部分,还是认为其为建造物与建筑无缘呢?随着新技术的出现,对美的认识,即美的概念及对美的评判标准也产生了变化。

结构与装饰的融合或者是结构的装饰化问题自古以来就是重要的课题。在水晶宫和埃菲尔铁塔的设计中随处可见在这一点上所下的功夫。然而帕克斯通与埃菲尔从根本上并没有认为自己创造的东西在审美意义上具有价值。

不刻意追求美,即不将美观放在首位的“与结构技术相融合的形态”有时可能产生具有固有表现力的“结构美”。毕昂·德·维尔蒂说过:“技术美产生于不追求美的地方”。技术美被认为是除自然美、艺术美之外的第三种美。世界上的很多历史纪念物虽然规模庞

大,但其形态与造型均反映出所处时代的技术水平。因此与历史观和文化观同样,随着对其背景的技术理解的不深入,其纪念性更加鲜明地显现出来。

“使风筝飞翔的是丝绳,阻止风筝飞翔的也是丝绳”。已故的山本学治在《现代建筑论》(井上书院,1968年)中,向我们提出了一个古老的新观点。“在任何时代,建筑艺术通过一根线与当代人民的生活联系在一起,就像孩子们手中抓紧的风筝线,在不断地拉紧放松的过程中风筝越飞越高,建筑艺术通过拽向大地的线的张紧,飞翔在艺术的世界中”。这是在先生的告别仪式(1977年)上,发给与会者的纸上的一段话。先生一定是通过这张字条正在与我们进行对话。把建筑定义为形态与空间的艺术,在美学评价上是成立的。但是,从建造的角度看,只有与大地(指生活行为)系结在一起的线(指建设活动中跃跃欲试的人类的意志)的张紧,才是使风筝(指建筑)在空中高高飞翔的动力。

● 结构与表现——时代的感知力

超越时代建筑的美感充满魅力。例如斯德哥尔摩市政厅、朗香教堂中展示出的空间与形态、光与影,布拉格城的12世纪会堂中显示的石材的温暖。这些无论在任何时代都深深感动着人们并刻在人们的心中。

另一方面,把结构美与力学造型联系起来的重要性作为建筑的一般问题考虑,并展示给世人的是S·吉迪恩先生。在他的名著《空间·时间·建筑》(“Space, Time, Architecture”)(1941)中,使用大量笔墨介绍R·梅耶并对其大加赞赏,在当时一定掀起了巨大的波澜。



1. 山本学治,《现代建筑与技术》(彰国社, 1963年)
2. 藤本盛久,《结构物的技术史》(市谷出版社, 2001年)
3. 川口卫等,《建筑结构的构成/力流与形状》(彰国社, 1990年)

建筑是织品。经线(指技术)与纬线(指感知力)相互交错。

在英年早逝的萨里南的世界中,可以感受到感性与技术之间的华丽而自由的对话,令人深思。在每一件作品中不同的鲜明强烈的空间形象与结构技术的结合,大胆与纤细交织在一起的充满感性的表现力,骨骼粗状的构想力与巧妙的细部处理。比如艾尔大学的曲棍球场,如果没有拱两端的反曲率,其建筑魅力将大为逊色。从本质上说,“美”不能仅由“结构”来决定。在高迪和赖特的作品中甚至有幽默的味道。有趣的、不可思议的、幻想的、不经意的、新鲜的、轻松的这些非逻辑性格的结构表现在未来将会不断涌现。

曾经出现的“结构表现主义”到底对谁有意义?其追求的目标又是什么呢?这里要说明的不是存在一时的流行主义,而是我们应该针对这种良莠混淆的状态,或者创造修养的不足和创造热情的欠缺予以反省。表现空间的结构、表现结构的空间——结构与表现的课题宽广而又深奥。

现在来看看结构与表现。当对万神庙与东京穹顶比较时,不考虑两者之间在技术上的巨大差距,后者给人留下的印象是对其巨大空间的一时感叹,而对前者的感动却永远铭刻在心中。可以说,我们生来具有根据自己的理解对眼前的建筑物进行解释的欲望。确实与充气原理相比,支撑巨石于空中的穹拱的力学更易于理解。

当谈到结构表现与结构设计时,将结构与建筑用人体比喻,通常认为“结构是骨骼”。我认为“结构是包裹在皮肤下的骨骼与筋肉形成的肉体”。柔韧而强劲的身体,即使是裸体也充满美丽,即使用任何衣服遮掩也会透出美丽与健康。是穿泳衣还是厚厚的羽绒外套,是苗条的身材好还是锻炼成健美的体魄,这是另一层面的话题。

● 建筑织品论——二元素

诺曼·福斯特曾经说过,“从某种意义上说,人类的历史也是技术的历史”。将这句话引申到建筑

的世界中则成为,“从某方面说建筑的历史是结构技术的历史”。特别是如何坚固、安全地建造无柱的空间(Column-Free Space)从远古时代起就是人类的梦想。这类空间是人们共同生活、祈祷,庆典、娱乐的空间。或者是提供人与物分离的空间及收藏空间。这种宽敞的横向空间(大跨建筑)的建筑史,与由于城市的经济活动和高密度居住生活的需要发展起来的纵向空间(多层建筑)相比,要古老和悠久得多。

大跨建筑的历史也许可以被形容为“织品”。如果将作为工具(Tool)的结构技术,即材料、施工方法、构造方法,理论作为经线,那么建筑形态即造型性和审美性就是纬线。经线的特点是具有连续性与普遍性。它的数量随着时间的推移而增加,随着织品——建筑应用范围的扩大,经线也被磨练得越来越强韧。另一方面,在时代的感知性中不断动摇的纬线,在时代变迁的过程中,其颜色和粗细都在发生变化。在具有时代特点的色彩变化中,织品不断描绘出绚丽多彩的历史图案。

形成建筑空间或展示建筑空间的是结构。即使结构体自身也能呈现出另一种空间。如果有建筑空间的造型设计,也应该有结构空间的造型设计。这时在本来以安全性和经济性为原点的结构技术中就产生了“结构”与“造型”的新的视点。一般来说对于各词汇的意义和所包括的内容可以无限地扩张,为寻找两者之间的交汇点,以下两个词汇的比较耐人寻味。

A 结构与造型

B 结构造型

再利用“建筑织品论”进行分析,A中的结构为经线(Tool),造型为纬线(Demand)。B中的观点将两者作为互动的关系提出。归根结底,“空间与结构”这一主题是在以上两种观点中不断地徘徊,是在各个时代不断被提及的永恒话题。